

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-149989

(43) 公開日 平成10年(1998) 6月2日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 1 L 21/205

H 0 1 L 21/205

審査請求 未請求 請求項の数17 O L 外国語出願 (全 28 頁)

(21) 出願番号 特願平9-290256

(22) 出願日 平成9年(1997) 9月16日

(31) 優先権主張番号 08/707491

(32) 優先日 1996年9月16日

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 595063994

アプライドコマツテクノロジー株式会社
東京都新宿区西新宿2丁目7番1号

(72) 発明者 クアンユアン シャン

アメリカ合衆国, カリフォルニア州,
サン ノゼ, ジョンソン アヴェニュー
1570

(72) 発明者 キャム エス. ロウ

アメリカ合衆国, カリフォルニア州,
ユニオン シティー, リヴィエラ ドラ
イヴ 461

(74) 代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外4名)

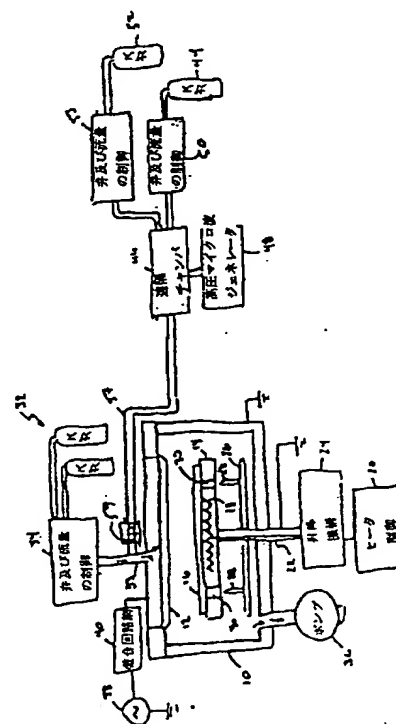
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高出力遠隔励起源を用いた堆積チャンバクリーニング技術

(57) 【要約】

【課題】 電子デバイス製造に使用される堆積チャンバをクリーニングするための方法。

【解決手段】 堆積チャンバ外の反応チャンバ内に前駆体ガスを供給し、高出力源を用いて反応チャンバ内で前駆体ガスを活性化して反応種を形成し、反応種を反応チャンバから堆積チャンバ内に流入させ、反応チャンバから堆積チャンバ内に流入させた反応種を用いて堆積チャンバ内部をクリーニングすることからなる方法。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 堆積チャンバをクリーニングするための方法であって、

プロセスチャンバ外の~~図1~~チャンバとプロセスチャンバとの間に差圧が生じるように、堆積チャンバ外の~~図1~~チャンバ内に前駆体ガスを供給する、供給のステップと、約3000ワット～約12000ワットの出力を用いて~~図1~~チャンバ内で前駆体ガスを活性化して反応種を形成する、前駆体活性化のステップと、反応種を~~図1~~チャンバから堆積チャンバ内に流入させる、流入のステップとを備える方法。

【請求項2】 前記前駆体活性のステップが、~~図1~~活性源（~~図1~~アクティベーションソース）を用いて行われる請求項1に記載の方法。

【請求項3】 該前駆体ガスが、全てのハロゲンと、これらの気体化合物から成る気体群より選択される請求項2に記載の方法。

【請求項4】 該前駆体ガスが、塩素と、フッ素と、これらの気体化合物とから成る気体群より選択される請求項3に記載の方法。

【請求項5】 該前駆体ガスが NF_3 である請求項4に記載の方法。

【請求項6】 前記~~図1~~活性源がマイクロ波エネルギーである請求項2に記載の方法。

【請求項7】 該キャリアガスを~~図1~~チャンバに流入させるステップを更に備える請求項2に記載の方法。

【請求項8】 該キャリアガスが、窒素と、アルゴンと、ヘリウムと、水素と、酸素とから成る気体群より選択される請求項7に記載の方法。

【請求項9】 前記~~図1~~チャンバからプロセスチャンバ内に流入した該反応種を局所活性源を用いて更にに励起するステップと、前記局所活性源でさらに励起された該反応種を用いてプロセスチャンバ内のクリーニングプロセスを実施するステップとを更に備える請求項1に記載の方法。

【請求項10】 該差圧が、約5 Torr～約20 Torrである請求項1に記載の方法。

【請求項11】 前記~~図1~~チャンバ内の圧力が少なくとも約15 Torrである請求項10に記載の方法。

【請求項12】 堆積装置組立体であって、堆積チャンバと、前記堆積チャンバの外にある~~図1~~チャンバと、前記~~図1~~チャンバ内にエネルギーを供給することのできる活性源（アクティベーションソース）と、反応種を形成するための活性源による活性化が行われる前記~~図1~~チャンバの中に、~~図1~~ガス供給源から前駆体ガスを流入させるための第1の導管と、該反応種を前記~~図1~~チャンバから前記堆積チャンバ内に流入させるための第2の導管とを備える堆積装置組立体、

【請求項13】 前記第2の導管に流量絞りを更に備える請求項12に記載の堆積装置組立体。

【請求項14】 前記活性源が、約12000ワット／リットル～約48000ワット／リットルの出力のエネルギーを供給するように設計されている請求項12に記載の堆積装置組立体。

【請求項15】 電子デバイス製造に用いられる堆積チャンバをクリーニングするための方法であって、堆積チャンバ外の~~図1~~チャンバ内に前駆体ガスを供給するステップと、

~~図1~~チャンバ容積1リットルあたり約12000ワット～約48000ワットの出力を用いて~~図1~~チャンバ内で前駆体ガスを活性化して反応種を形成するステップと、反応種を~~図1~~チャンバから堆積チャンバ内に流入させるステップと、

~~図1~~チャンバから堆積チャンバ内に流入させた反応種を用いて堆積チャンバ内部をクリーニングするステップとを備える方法。

【請求項16】 該差圧が少なくとも約4.5 Torrである請求項1又は15のいずれかに記載の方法。

【請求項17】 電子デバイス製造に用いられる堆積チャンバをクリーニングするための方法であって、堆積チャンバ外の~~図1~~チャンバ内に前駆体ガスを供給するステップと、

固定同調高出力プラズマ源を使用し、約3000ワット～約12000ワットの出力を用いて~~図1~~チャンバ内で前駆体ガスを活性化して反応種を形成するステップと、反応種を~~図1~~チャンバから堆積チャンバ内に流入させるステップと、

~~図1~~チャンバから堆積チャンバ内に流入させた反応種を用いて堆積チャンバ内部をクリーニングするステップとを備える方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、堆積チャンバクリーニングに関する。

【0002】

【従来の技術】 プラズマ化学反応は半導体およびフラットディスプレイの分野で広範に使用されている。その1例であるプラズマ化学気相堆積（PECVD）は、アクティブマトリックス液晶ディスプレイ（AMLCD）用の薄膜トランジスタ（TFT）の製造に使用されるプロセスである。PECVDでは、1対の平行板電極を備えた真空堆積チャンバ内に基板が配される。これらの電極の一方、例えば一般にサセプタと呼ばれている下部電極は、基板を保持する。他方の電極すなわち上部電極はガス吸気マニフォールドもしくはシャワーヘッドとして機能する。堆積中に反応ガスが上部電極を通してチャンバに流入し、高周波（RF）電圧が電極間に印加され、これによって反応ガス中にプラズマが形成される。プラズ

マは反応ガスを分解させ、物質層を基板表面上に堆積させる。

【0003】このようなシステムは、物質を基板表面上に優先的に堆積させるように設計されたものではなく、チャンバ内の他の内表面上にも物質をいくらか堆積させる。したがって、度重なる使用の後、これらのシステムはチャンバ内に堆積した物質堆積層を除去するためにクリーニングしなければならない。チャンバおよびチャンバ内に露出した部品をクリーニングするために、インシチュウクリーニングプロセスが一般に用いられている。このインシチュウの技術では、前駆体ガスがチャンバに供給される。ついで、グロー放電プラズマをチャンバ内の前駆体ガスに局所的に印加することにより、反応種が生成される。この反応種は、チャンバ表面上のプロセス堆積物と揮発性化合物を形成することによってこれらの表面をクリーニングする。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】このインシチュウクリーニング技術にはいくつかの短所がある。第1に、この反応種を生成させるためにチャンバ内でプラズマを用いるのは効率的でない。すなわち、許容できるクリーニング速度を得るためには比較的高い出力が必要である。しかし、出力レベルが高ければチャンバ内部のハードウェアを損傷させ易く、この結果、その使用寿命が顕著に短くなる。損傷したハードウェアの交換は極めて高価となることがあり、これにより、堆積システムを用いて処理される製品の基板あたりのコストが顕著に上昇しかねない。現在、競争の激しい半導体製造業界において、基板あたりのコストはコストに敏感な購入者にとって重要であり、クリーニングプロセス中に破損した部品を定期的に交換しなければならないことによる運転経費の上昇は極めて好ましくない。

【0005】従来のインシチュウドライクリーニングプロセスのもう1つの欠点は、許容可能なクリーニング速度を達成するために必要な高い出力レベルが、他のシステム部品を損傷させたり、あるいはチャンバの内表面を物理的にワイピングする（拭う）ことによってしか除去できない残留物や副産物を発生させ易いことである。例えば、チャンバやプロセスキット部品（例えば、ヒータ、シャワーヘッド、クランピングリング等）がアルミニウム製である堆積システムにおいては、内表面をクリーニングするために NF_3 プラズマを用いることが多い。このクリーニングプロセスにおいては、いくらかの量の Al_xF_y が形成される。その形成量は高プラズマエネルギー値に由来するイオン衝撃によって大幅に増大する。したがって、かなりの量の Al_xF_y がシステム中に形成され得る。残念なことに、この物質は公知の化学プロセスのいずれによってもエッチング除去できないため、物理的に表面をワイピングすることによって除去しなければならない。

【0006】1つの解決法は、チャンバ内でプラズマを励起することである。この方法ではプロセスチャンバの外の励起源を使用することによって反応種を発生させる。この反応種はプロセスチャンバに供給され、特定のプロセス、例えばチャンバのドライクリーニングの実施を促進する。

【0007】この方法にはいくつかの短所がある。第1に、このようなシステムに用いられる印加プラズマ出力値（典型的には500～1500ワット）は典型的には NF_3 である供給ガスを完全に分解するものではない。プラズマによって分解されない供給ガスがシステムから排出されると環境に悪影響を与える可能性がある。購入者は環境への影響が極少ないか有益であるような製品を好むことが多い。

【0008】第2に、このようなシステムに使用される印加圧力値は一般に低い。その影響でプラズマはほとんど局在化されない。局在化の欠如による好ましくない影響として、励起チャンバ内およびその近傍のある種の部品が熱プラズマによって燃焼することもある。例えば、これは、チャンバと堆積チャンバとを接続する管のネック部近傍、特に管のチャンバ側部分で起こる可能性がある。

【0009】第3に、このようなシステムに用いられる出力値（典型的には500～1500ワット）を有するマイクロ波エネルギーを用いてプラズマを発生させるには、一般に複雑な自動同調手順が必要となる。さもなければ、このようなプラズマは不安定となるためである。すなわち、このようなプラズマは自動同調なしでは消滅してしまう。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明は1つの特徴として、電子デバイス製造に使用される堆積チャンバをクリーニングするための方法に関する。本方法のステップには、堆積チャンバ外のチャンバ内に前駆体ガスを供給するステップと、約3000ワット～約12000ワットの出力を用いてチャンバ内で前駆体ガスを活性化して反応種を形成するステップとが含まれる。その他のステップには、反応種をチャンバから堆積チャンバ内に流入させるステップと、チャンバから堆積チャンバ内に流入させた反応種を用いて堆積チャンバ内部をクリーニングするステップとが含まれる。

【0011】本方法の実施態様には以下のものが含まれる。前駆体ガスを活性化させるステップは、活性源を用いて実施される。前駆体ガスは、全てのハロゲンと、これらの気体化合物とから成る気体群より選択されるものであり、また、塩素、フッ素、およびこれらの気体化合物から成る気体群より選択されてもよい。活性源はマイクロ波エネルギー源である。本方法においては、さらにキャリアガスを活性チャンバに流入させ、このキャリアガスは窒素、アルゴン、ヘリウム、水

素、および酸素から成る気体群より選択されるものとしてもよい。

【0012】本発明はもう1つの特徴として、プロセスチャンバをクリーニングするための方法に関する。本発明のステップには、プロセスチャンバ外の図10チャンバとプロセスチャンバとの間に差圧が生じるように図10チャンバ内に前駆体ガスを供給するステップと、約3000ワット〜約12000ワットの出力を用いて図10チャンバ内で前駆体ガスを活性化して反応種を形成するステップとが含まれる。その他のステップには、反応種を図10チャンバからプロセスチャンバ内に流入させるステップが含まれる。

【0013】本方法の実施態様には以下のものが含まれる。図10チャンバからプロセスチャンバ内に流入した反応種を局所活性源を用いてさらに励起するステップと、局所活性源でさらに励起された反応種を用いてプロセスチャンバ内のクリーニングプロセスを実施するステップとが含まれてもよい。差圧は少なくとも約4.5 Torrであり、図10チャンバ内の圧力は少なくとも約15 Torrである。

【0014】本発明はまた1つの特徴として、クリーニング用前駆体ガス源に接続することのできる堆積装置に関する。この装置は、堆積チャンバと、堆積チャンバの外にある図10チャンバと、図10チャンバ内に高出力のエネルギーを供給することのできる高出力活性源と、前駆体ガスを図10ガス供給源からこれが活性源によって活性化されて反応種を形成する図10チャンバ内に流入させるための第1の導管と、反応種を図10チャンバから堆積チャンバ内に流入させるための第2の導管とを有している。

【0015】本方法の実施態様には以下のものが含まれる。装置は、図10チャンバ内への前駆体ガスの流れを制御するバルブおよびフロー制御機構、および図10チャンバ内へ流入する前駆体ガスとは異なるキャリアガスの流れを制御するバルブおよびフロー制御機構を有していてもよい。

【0016】本発明はまた別の特徴として、電子デバイス製造に用いられる堆積チャンバをクリーニングするための方法に関する。本方法には、堆積チャンバ外の図10チャンバ内に前駆体ガスを供給するステップと、図10チャンバ容積1リットルあたり約12000ワット〜約48000ワットの出力を用いて図10チャンバ内で前駆体ガスを活性化して反応種を形成するステップとが含まれる。その他のステップには、反応種を図10チャンバから堆積チャンバ内に流入させ、図10チャンバから堆積チャンバ内に流入させた反応種を用いて堆積チャンバ内部をクリーニングするステップが含まれる。

【0017】本発明はまた別の特徴として、電子デバイス製造に用いられる堆積チャンバをクリーニングするための方法に関する。本方法には、堆積チャンバ外の図10チャンバ内に前駆体ガスを供給するステップと、固定同

調高出力プラズマ源を用いて約3000ワット〜約12000ワットの出力を用いて図10チャンバ内で前駆体ガスを活性化して反応種を形成するステップとが含まれる。他のステップとしては、反応種を図10チャンバから堆積チャンバ内に流入させ、図10チャンバから堆積チャンバ内に流入させた反応種を用いて堆積チャンバ内部をクリーニングするステップが含まれる。

【0018】

【発明の実施の形態】以下の実施態様においては、ここに記載のように改変したアプライドコマツテクノロジー社製のモデルAKT-1600PECVDシステムを用いた。AKT-1600PECVDはアクティブマトリックス液晶ディスプレイ（AMLCD）製造用に設計されたものである。これは、アモルファスシリコン、窒化シリコン、酸化シリコンおよび酸窒化物フィルムを堆積するために使用できる複数のプロセスチャンバを備えたモジュラーシステムである。しかし、本発明は商業的に入手可能なあらゆる堆積システムを用いて行うことができる。

【0019】図1を参照すると、本発明に従って改変したPECVDシステムは、堆積チャンバ10と、その内部に設けられたガス導入用のガス吸気マニホールド（もしくはシャワーヘッド）12と、物質をその上に堆積させる基板16を保持するためのサセプタ14とを有している。吸気マニホールド12およびサセプタ14は共に平行板の形態を有しており、それぞれ上部電極、下部電極としても機能する。下部電極とチャンバ本体は接地されている。高周波発振器38は整合ネットワーク40を介して高周波出力を上部電極に供給する。高周波発振器38は、上部電極と下部電極の間にプラズマを発生させるために使用される。

【0020】サセプタ14は堆積中に基板を加熱するための抵抗ヒータ18を有している。外部ヒータ制御モジュール20がヒータを駆動し、システムで実行するプロセスにより指示される適切な温度レベルにサセプタを到達させかつ維持する。

【0021】チャンバ10の外部には堆積中に使用されるガスを含むガス供給源32が設けられる。使用される特定のガスは基板上に堆積すべき物質に依存する。プロセスガスは吸気口を通してガスマニホールド内に流入し、さらにシャワーヘッドを通してチャンバ内に流入する。電子操作されるバルブおよびフロー制御機構34はガス供給源からチャンバ内へのガスの流れを制御する。また、減圧ポンプ36が排気口を介してチャンバに接続されており、チャンバ内を減圧するために使用される。

【0022】本発明によれば、第2のガス供給系も吸気口33を介してチャンバに接続される。この第2のガス供給系は一連の堆積作業後にチャンバ内部をクリーニングするために使用されるガスを供給する。ここで「クリーニング」とは、チャンバ内表面からの堆積物質の除去

を意味する。また、ガスの混合が所望される場合は第1および第2のガスの供給を組み合わせることもできる。

【0023】第2のガス供給系は、前駆体ガス供給源44、堆積チャンバ外に間隔を置いて位置する活性チャンバ46、活性チャンバ内の前駆体ガスを活性化するための出力源48、電子操作されるバルブおよびフロー制御機構50、およびチャンバを堆積チャンバに接続する導管もしくはパイプ57を含む。

【0024】流量絞り59がフローパイプ57中に使用されている。流量絞り59はチャンバ46と堆積チャンバ10との間の流路のいずれの位置に配してもよい。このような流量絞りによってチャンバ46と堆積チャンバ10との間に差圧を存在させることが可能になる。

【0025】バルブおよびフロー制御機構50は使用者が選択した流量でガスを前駆体ガス供給源44から活性チャンバ46内に供給する。出力源48は前駆体ガスを活性化して反応種を形成し、これは次いで導管57を通して吸気口33を介して堆積チャンバ内に流入する。換言すれば、上部電極すなわちシャワーヘッド12を用いて反応ガスを堆積チャンバ内に供給する。記載された実施例においては、チャンバはサファイア管であり、出力源は2.54GHzのマイクロ波エネルギーであって、その出力はサファイア管に向けられる。

【0026】また、微量キャリアガス供給源52を設け、これをもう1つのバルブおよびフロー制御機構53を介して活性チャンバに接続してもよい。微量キャリアガスは活性種の堆積チャンバへの輸送を促進する。これは、共に使用される特定のクリーニングプロセスに適応する適当な非反応性ガスのうちのいずれかとすることができる。例えば、微量キャリアガスは、アルゴン、窒素、ヘリウム、水素、もしくは酸素等とすることができる。活性種の堆積チャンバへの輸送を促進することに加え、キャリアガスはクリーニングプロセスの促進もしくは堆積チャンバ内のプラズマの発生および／もしくは安定化を助長することもできる。

【0027】記載された実施例において、前駆体ガスは NF_3 である。活性種の流量は約2リットル/分であり、プロセスチャンバ圧は約0.5 Torrである。前駆体ガスを活性化するために、マイクロ波供給源は約3000~12000ワットを活性チャンバに供給する。多くの用途では500ワットの値を使用することができる。

【0028】活性チャンバはできるだけ高い圧力に保持される。換言すれば、チャンバと堆積チャンバとの間の差圧をできるだけ大きくし、少なくとも、例えば4.5 Torrとすることができる。チャンバの圧力は、例えば約5 Torr~約20 Torr、特に約15 Torrというように、高めにすることができる。堆積チャンバの圧力は、例えば約0.1 Torr~約2

Torr、特に約0.5 Torrとすることができる。流量絞り59を用いることにより、堆積チャンバ10の圧力に悪影響を与えることなく、高圧プラズマを維持することが可能になる。流量絞り59は例えば1つの小さなオリフィスもしくは一連の小さなオリフィスとすることができるが、例えば減圧弁もしくはニードル弁等、差圧を形成する装置のいずれかを使用することもできる。流量絞り59はパイプ57が堆積チャンバ10に入る位置もしくはその近傍に配することができる。

【0029】このチャンバに対する出力および圧力の選択はいくつかの利点を有している。第1に、選択された高出力によってチャンバ内でガスのほぼ完全な活性化が行われ、この結果、環境に悪影響を与えるような前駆体ガスのチャンバからの排出量が少なくなる。

【0030】第2に、本発明者等は活性化量百分率が予想を遙かに超えるものであることを見出した。図2には、圧力15 Torrにおける印加出力に対するガス分解（もしくは活性化ガス）百分率を示す。尺度を変えれば、この曲線は清浄速度とほぼ同様となる。低出力においてはガス分解はほぼ直線的であることが認められる。本発明者等は、高出力、例えば2000ワットを超える領域では、ガス分解百分率は100%分解に漸近的に接近する前に非直線的遷移域を通過することを見出した。これは、MWRPS（マイクロ波出力源）と表示された、データ点を記入した曲線から認められる。この結果、予想を遙かに超えるガス分解が得られる。遷移域の正確な位置はガス圧やガス流のような他の要素にも依存することに留意されたい。

【0031】上述の出力範囲はチャンバの寸法にも部分的に依存すると考えることができる。約3000~12000ワットの出力範囲は1/4リットルのチャンバ容積に基づくものであり、出力密度約12000~48000ワット/リットルに対応する。これらの値は他の寸法のチャンバについては増大および減少する。

【0032】この出力および圧力範囲が有利であることの第3の理由は、高圧プラズマがより局在化することにある。すなわち、高圧プラズマがチャンバから拡散したり、特にチャンバと堆積チャンバとを接続する配管を燃焼させたりする可能性が低くなる。

【0033】この出力および圧力範囲が有利であることの第3の理由はプラズマ安定性にある。高出力マイクロ波プラズマは低出力プラズマよりも安定であり同調させやすい。例えば、低出力プラズマはプラズマ発生開始中に複雑な自動同調手順を必要とする。これを使用しなければ低出力プラズマは消滅してしまう。プラズマを起こすために高出力を使用すれば、より簡単な固定同調手順を用いて発生開始および最適な同調を行うことができる。

【0034】したがって、プラズマ活性チャンバ内で高出力および高圧プラズマを組み合わせることによ

り、予期できないほど効率的な局在化された安定なプラズマが得られる。

【0035】 NF_3 を供給ガスとして用いることにより、本発明者等は、シリコン(Si)、ドーパされたシリコン、窒化シリコン(Si_3N_4)および酸化シリコン(SiO_2)が堆積したチャンバをクリーニングすることができた。堆積フィルムあたりのクリーニング速度は窒化シリコン(図10チャンバ圧15 Torr、図10チャンバ出力5000ワットおよびサセプタ温度360℃において2000 sccmの NF_3 を流した場合)については1ミクロン/分に達しており、例えば窒化シリコンについては1ミクロン/分であった。これらのクリーニング速度は、例えば、13.56 MHz高周波において約3キロワットの出力値の局在化プラズマを用いるに過ぎない従来のクリーニングプロセスよりも2倍速い。

【0036】一般に、反応ガスは、一般的に使用されるハロゲンおよびハロゲン化合物を含む広範な選択肢から選ぶことができる。例えば、反応ガスは塩素、フッ素もしくは NF_3 、 CF_4 、 SF_6 、 C_2F_6 、 CCl_4 、 C_2Cl_6 等、それらの化合物とすることができる。当然ながら、使用される特定のガスは、除去される堆積物質に依存する。例えば、タングステン堆積システムにおいては、堆積したタングステンをエッチングおよび/もしくは除去するために、フッ素ガスが典型的に使用される。

【0037】選択された出力値、流量、および圧力はシステムに特有であり、したがって、プロセスが実行される特定のシステムのために最適化する必要があることに

留意されたい。特定のシステムについて性能の最適化を達成するためにプロセス条件を適切に調整することは当業者の能力の範囲内である。

【0038】上述の実施例はPECVDシステムに関するものであるが、本発明はより広範な用途を有している。例えば、図10活性源(すなわち、主真空チャンバ外のもの)の概念は局所活性源(すなわち、主真空チャンバ内のもの)と組み合わせて使用することにより、PVD、CVD、イオンドーピング、フォトリジストストリッピング、基板クリーニング、プラズマエッチングのいずれかのために設計されたシステムにおいて使用することができる。

【0039】

【発明の効果】以上詳細に説明したように、本発明によれば、図10チャンバ内でプラズマを励起する際の従来技術における欠点が解決される。

【図面の簡単な説明】

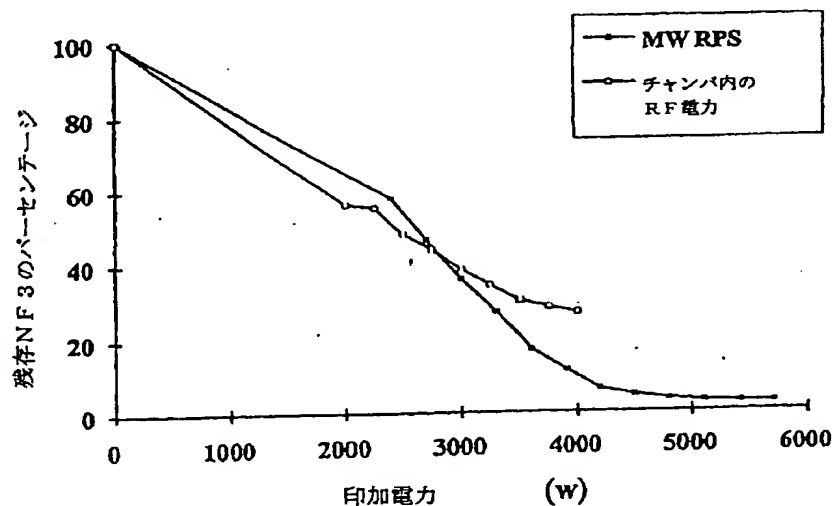
【図1】本発明を実現する高出力PECVDシステムのブロック図である。

【図2】印加出力に対するクリーニングガス分解百分率を示すグラフである。

【符号の説明】

10…堆積チャンバ、44…前駆体ガス供給源、46…図10活性チャンバ、48…出力源、50…バルブおよびフロー制御機構、52…キャリアガス供給源、53…バルブおよびフロー制御機構、57…導管、59…流量絞り。

【図2】



【図1】

